

# PENGARUH VARIASI KONSENTRASI INFLUEN DAN *HYDRAULIC LOADING RATE* (HLR) TERHADAP PENYISIHAN PARAMETER BOD DAN COD PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK *ARTIFICIAL* (*GREY WATER*) MENGGUNAKAN REAKTOR UASB

Iin Novitasari; Syafrudin<sup>\*)</sup>; Sudarno<sup>\*)</sup>

## Abstract

*Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor is one of anaerobic biological treatment was develop in late 1970's. UASB reactor is suitable for the tropic areas because it has a high temperature about 20°-30°C. Domestic wastewater is divided into two types, namely black water and grey water. But in this case used domestic grey water. Grey water is household wastewater from showers, sinks and kitchen. Grey water has a total 75% of the domestic wastewater volume. The research was conducted in laboratory scale. This study performed a variation of Hydraulic Loading Rate (HLR) and the influent concentration. There were 25 reactors include 5 variations of influent concentration and 5 Hydraulic Loading Rate's (HLR) variation. The research could asses BOD<sub>5</sub> and COD removal with treatment in UASB. Efficiency of BOD<sub>5</sub> removal by varying the influent concentration and HLR was about 38%-75% and COD was about 40%-77%. The lower concentration could be increase efficiency BOD<sub>5</sub> and COD removal. Influent concentration optimum occurred when middle concentration was about 840 mg/L COD and HLR optimum was 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam.*

**Key Words:** UASB, influent concentration, Hydraulic Loading Rate (HLR)

## PENDAHULUAN

Menurut KepMen LH No.112 Tahun 2003 air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan permukiman (*real estate*), rumah makan (restaurant), perkantoran, perniagaan, apartement dan asrama. Air limbah domestik adalah sumber utama penyebab pencemaran badan air di daerah perkotaan.

Menurut Henze dan Ledin (2001) air limbah domestik dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu air limbah dari kakus atau WC yang diistilahkan sebagai air tinja atau *black water* dan air limbah rumah tangga bekas mandi cuci dan air limbah dapur non kakus (*grey water*). Dua kategori ini memiliki kandungan yang berbeda sehingga membutuhkan pengolahan dengan instalasi terpisah. Air limbah domestik umumnya mengandung TSS, BOD<sub>5</sub>, COD, nitrogen, fosfor, klorida E.coli dan lain-lain.

UASB banyak digunakan untuk mengolah air limbah industri dan domestik dengan presentase BOD/COD tinggi dalam bentuk terlarut (Said,2002). Prinsip kerja reaktor ini, air limbah mengalir ke atas melalui lapisan lumpur anaerob/*slugde*

*blanket* dimana proses biodegradasi bahan organik berlangsung (Lettinga,1991). Parameter yang digunakan adalah BOD<sub>5</sub> dan COD dengan variasi konsentrasi influent dan HLR.

## BAHAN DAN METODOLOGI

### a. Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium untuk mendapatkan informasi efisiensi sistem pengolahan dengan UASB. Limbah yang digunakan adalah limbah domestik *grey water artificial*. Karakteristik limbah berasal dari Kelurahan Gabahan dan Perumahan Bukit Semarang Baru.

**Tabel 1.**  
**Hasil Uji Karakteristik Air Limbah**  
***Grey Water***

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji BSB	Hasi Uji Gabahan
1.	COD	mg/L	155	1400
2.	BOD	mg/L	107	673
3.	TSS	mg/L	104	930
4.	Minyak/Lem-ak	mg/L	6,3	-
5.	pH	-	6,73	7,3

Reaktor yang digunakan terbuat dari fiber dengan diameter 10,14 cm dan tinggi 60 cm dengan volume lumpur  $\pm 30\%$  dari volume limbah. Reaktor ini dilengkapi dengan bak influent yang berkapasitas 200 L, pompa untuk menaikkan air menuju bak equalisasi yang terbuat dari kaca dan ember effluent untuk menampung air hasil pengolahan.



Gambar 1. Rangkaian UASB  
Sumber: Dok.Penelitian

- b. Penentuan Variasi Konsentrasi Influent  
Jumlah variasi konsentrasi influent yang digunakan dalam penelitian ini ada 5 yaitu :

**Tabel 2.**  
**Variasi Konsentrasi Influent**

No.	Konsentrasi Influent (mg/L)	Rentang Konsentrasi
1.	155	Rendah
2.	560	Rendah-Sedang
3.	840	Sedang
4.	1120	Sedang-Tinggi
5.	1400	Tinggi

- c. Penentuan Variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR)

Volume reaktor 4,86 L dengan HRT 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam dan 12 jam.

Maka variasi HLR sebagai berikut:

$$HLR_1 = 0,001215 \text{ (m}^3\text{/jam)} / 0,0081 \text{ (m}^2\text{)} = 0,15 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{/jam}$$

$$HLR_2 = 0,00081 \text{ (m}^3\text{/jam)} / 0,0081 \text{ (m}^2\text{)} = 0,1 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{/jam}$$

$$HLR_3 = 0,0006075 \text{ (m}^3\text{/jam)} / 0,0081 \text{ (m}^2\text{)} = 0,075 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{/jam}$$

$$HLR_4 = 0,000486 \text{ (m}^3\text{/jam)} / 0,0081 \text{ (m}^2\text{)} = 0,06 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{/jam}$$

$$HLR_5 = 0,000405 \text{ (m}^3\text{/jam)} / 0,0081 \text{ (m}^2\text{)} = 0,05 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{/jam}$$

- d. Pembuatan Limbah *Artificial*

Limbah *artificial* dibuat dengan bahan dasar aquadest dan dextrose. Untuk proses aklimatisasi 50%, 100% dan *running* menggunakan masing-masing 5 konsentrasi. Ketika *running*, variasi konsentrasi yang digunakan sama seperti aklimatisasi 100%.

- e. Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah tahap pengkondisian mikroorganisme agar dapat hidup dan melakukan adaptasi.

- f. *Running*

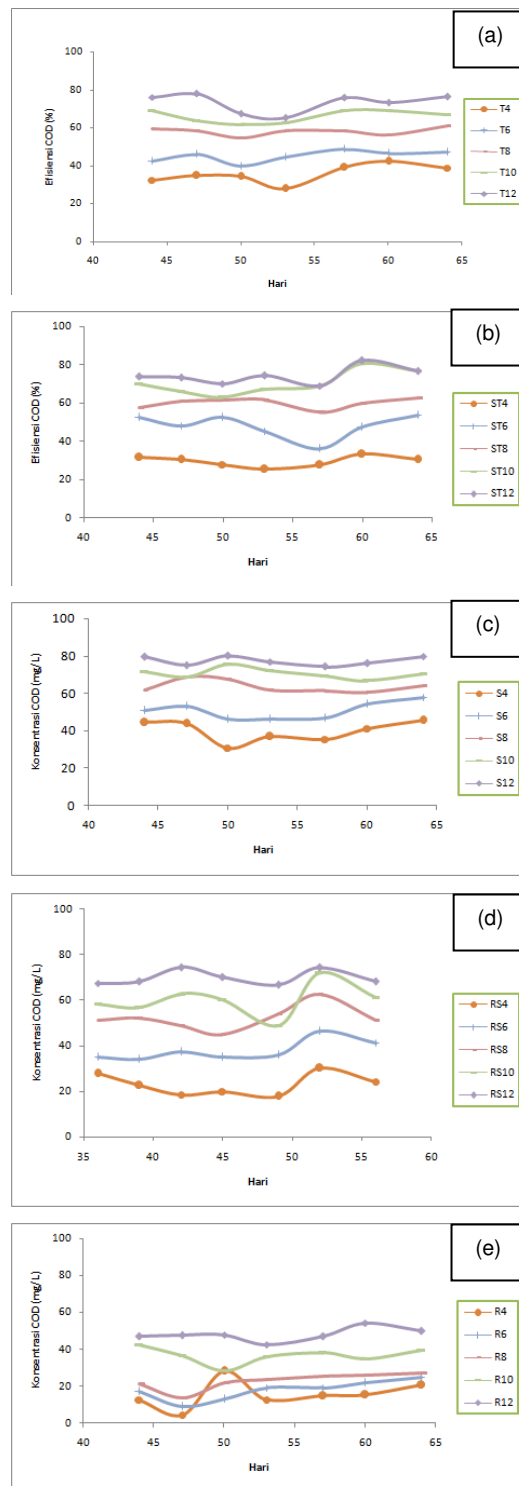
*Running* dilakukan 20 hari secara kontinyu. Satu siklus *running* memakan 4-12 jam.

## Hasil dan Pembahasan

### a. Pengaruh Variasi *Hydraulic Loading*

#### *Rate* (HLR) terhadap Penyisihan COD

Tahap aklimatisasi 50% dan 100% pada masing-masing variasi berlangsung hingga 30 hari sebelum *running*. Namun hasil yang digunakan adalah hasil *running*. Oleh karena itu pembahasan dalam penelitian ini hanya berdasarkan hasil *running* yang dilakukan selama 20 hari atau tepatnya 1 September 2013 hingga 21 September 2013. Berikut adalah pembahasan pertama yaitu mengenai kinerja penyisihan COD ditinjau dari varias HLR untuk mendapatkan HLR optimum yang didasarkan pada perbandingan masing-masing konsentrasi.



**Gambar 2**  
**Efisiensi Penyisihan COD pada (a)**  
**Konsentrasi Tinggi, (b) Konsentrasi**  
**Sedang-Tinggi, (c) Konsentrasi Sedang,**  
**(d) Konsentrasi Rendah-Sedang, (e)**  
**Konsentrasi Rendah**

Gambar 2(a) efisiensi penyisihan konsentrasi tinggi cukup bervariasi namun tetap stabil. Dimana masing-masing HLR memiliki kecenderungan yang berbeda. Efisiensi penyisihan COD pada T4 atau HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  rata-rata 35,64% dan untuk T6 mencapai 44,94%. Semakin rendah nilai HLR efisiensi penyisihan COD semakin besar seperti pada T8 dengan waktu tinggal 8 jam mampu menyisihkan  $\pm 58\%$  konsentrasi COD sedangkan untuk T10 efisiensi penyisihan COD lebih besar 8% yaitu mencapai rata-rata 66% dan HLR terendah atau T12 dengan nilai  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  memiliki efisiensi terbesar yaitu 73% pada konsentrasi ini.

Gambar 2(b) menunjukkan kinerja konsentrasi sedang-tinggi. Efisiensi pada konsentrasi sedang-tinggi cukup beragam. Efisiensi terendah pada konsentrasi sedang-tinggi terjadi pada HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dengan efisiensi rata-rata hanya 29,53%. Semakin rendah nilai HLR maka efisiensinya akan semakin besar. Seperti terlihat pada HLR  $0,010 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dan HLR  $0,075 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  apabila keduanya dibandingkan, maka efisiensi COD pada HLR  $0,075 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  akan lebih besar yaitu mencapai 59,87% sedangkan HLR  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  11% lebih rendah kurang lebih hanya 48%. Efisiensi penyisihan COD optimum pada konsentrasi sedang-tinggi mencapai 74,26% pada HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ . Selama *running* pH dan suhu cukup stabil yaitu berkisar 6,22-8,38 dan suhu antara  $26^\circ\text{C}$ - $28^\circ\text{C}$ . Menurut Tchobanoglous (2003) bakteri dapat hidup dan berkembang biak optimal pada pH 6,5-7,5 dan suhu  $25^\circ\text{C}$ - $35^\circ\text{C}$ .

Kinerja penyisihan COD pada konsentrasi sedang ditunjukkan gambar 2 (c), dimana efisiensi COD pada HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  pada hari ke-53 mengalami penurunan 13% dibandingkan hari sebelumnya. Hal ini disebabkan kenaikan konsentrasi effluent dan pH yang pada hari tersebut. Namun pada hari berikutnya hingga akhir *running* cukup stabil. Hal berbeda terjadi pada HLR  $0,075 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dan  $0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  pada hari ke-47 memiliki nilai effluent yang sama, sehingga efisiensi kedua HLR tersebut sama kurang lebih 68,75%. Efisiensi penyisihan COD

optimum terjadi di HLR 0,05  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  yang mencapai 77,34%.

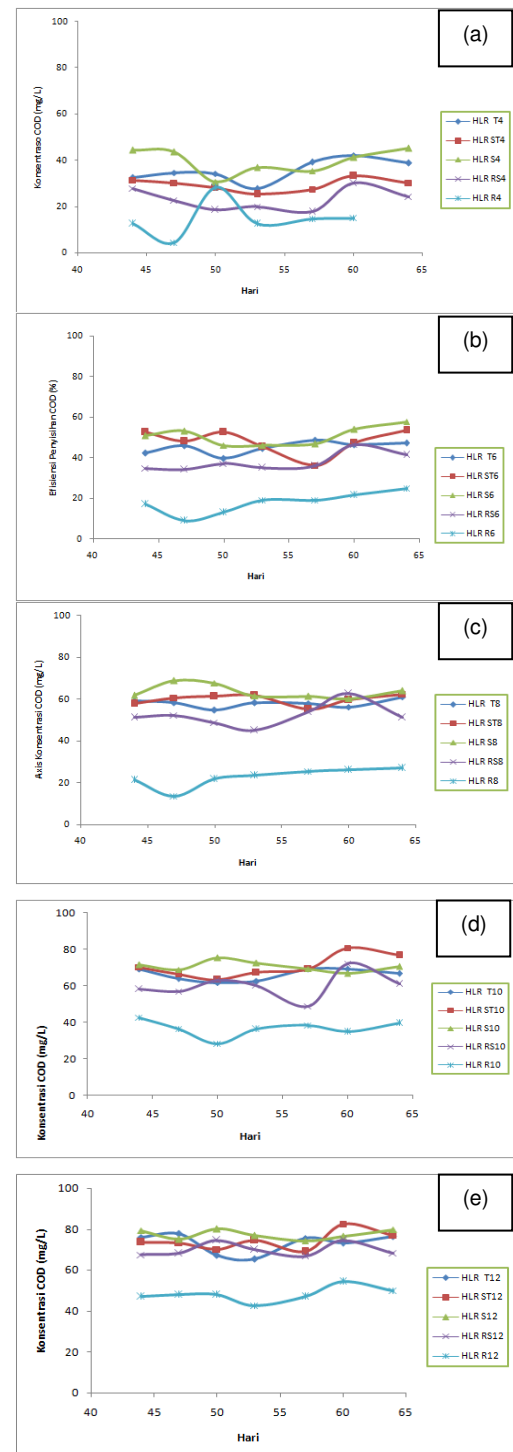
Kinerja konsentrasi sedang-rendah pada gambar 2 (d). Tahap *running* konsentrasi rendah-sedang dimulai pada hari ke-36 setelah aklimatisasi. Pada konsentrasi ini memiliki efisiensi terbesar terjadi pada HLR terendah dengan efisiensi 69,92%. Semakin kecil nilai HLR maka nilai HRT (waktu tinggal) akan semakin lama oleh karena itu secara tidak langsung akan mempengaruhi kecepatan aliran dalam reaktor. Hal ini sejalan seperti yang diungkapkan oleh Liu dan Tay (2004), bahwa semakin lama HRT (*Hydraulic Retention Time*) maka kecepatan aliran untuk naik ke atas juga akan semakin lambat dan hal ini memungkinkan bakteri untuk tumbuh dan membentuk granula.

Gambar 2 (e) menunjukkan kinerja efisiensi konsentrasi rendah dalam menyisihkan COD. Secara umum konsentrasi ini memiliki nilai efisiensi penyisihan COD yang lebih rendah dibandingkan konsentrasi sebelumnya. Dimana efisiensi terendah terjadi pada HLR 0,15  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  yang hanya mampu menyisihkan COD sebesar 16% sedangkan efisiensi optimum terjadi pada HLR 0,05  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dengan rata-rata  $\pm 48\%$ .

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh R. Reindy R.R. (2012) dimana efisiensi optimum dalam menyisihkan COD dan  $\text{BOD}_5$  terjadi pada HLR terendah. Walaupun nilai HLR yang digunakan berbeda yaitu 0,03  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dengan waktu tinggal paling lama yang digunakan 8 jam. Diperkuat dengan pernyataan Mahmoud dalam Moussavi (2010) HLR mempengaruhi kecepatan pengadukan serta waktu tinggal dalam reaktor sehingga pengadukan akan menjadi cepat dan waktu tinggal akan semakin cepat.

#### b. Pengaruh Variasi Konsentrasi Influent Terhadap Penyisihan COD

Selanjutnya adalah penyisihan COD berdasarkan variasi konsentrasi influent yang dibandingkan masing-masing HLR sehingga dapat diketahui konsentrasi optimumnya.



**Gambar 3.**  
Efisiensi Penyisihan COD pada :  
(a) HLR 0,15  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ , (b) HLR 0,1  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$   
(c) HLR 0,75  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ , (d) HLR 0,06  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$   
(e) HLR 0,05  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$

*Hydraulic Loading Rate* (HLR) terbesar yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ . Gambar 3.(a) merupakan kinerja pada HLR terbesar pada penelitian ini. Penyisihan terbesar pada HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  terjadi pada konsentrasi tinggi dan semakin sedikit COD yang disisihkan pada konsentrasi yang lebih rendah. Efisiensi optimum pada HLR ini justru terjadi pada konsentrasi sedang dengan efisiensi mencapai 39,71%. Padahal secara keseluruhan penyisihan COD pada konsentrasi tinggi lebih besar dibandingkan konsentrasi sedang. Hal ini dapat terjadi karena nilai efisiensinya sangat bergantung pada konsentrasi influent.

Berdasarkan Gambar 3 (b) pada HLR  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  sama seperti HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  yang memiliki penyisihan terbesar pada konsentrasi tinggi, namun efisiensi optimum pada HLR ini terjadi pada konsentrasi sedang. Secara keseluruhan pada HLR  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  karena pencampuran atau *mixing* pada reaktor ini lebih baik. Pencampuran dapat terjadi karena adanya kecepatan *upflow* dan naiknya gelembung gas. Kecepatan *upflow* dan HLR merupakan faktor dalam kinerja UASB. Sesuai dengan pernyataan Seghezzo (2004) dan Das & Chaudhari (2009) yang menyatakan pencampuran menyebabkan terputusnya tekanan *sludge bed* yang mana merupakan faktor kunci dalam menentukan formasi stabilitas dan struktur granula anaerobik yang dihasilkan. Sehingga pencampuran lebih baik. Oleh karena itu efisiensi penyisihan semakin besar.

Gambar 3 (c) merupakan efisiensi penyisihan COD untuk HLR  $0,075 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  selama *running* efisiensi terbesar terjadi pada konsentrasi sedang dengan efisiensi rata-rata 63,65%. Efisiensi terbesar kedua jatuh pada konsentrasi sedang-tinggi sedangkan efisiensi terendah terjadi pada konsentrasi rendah.

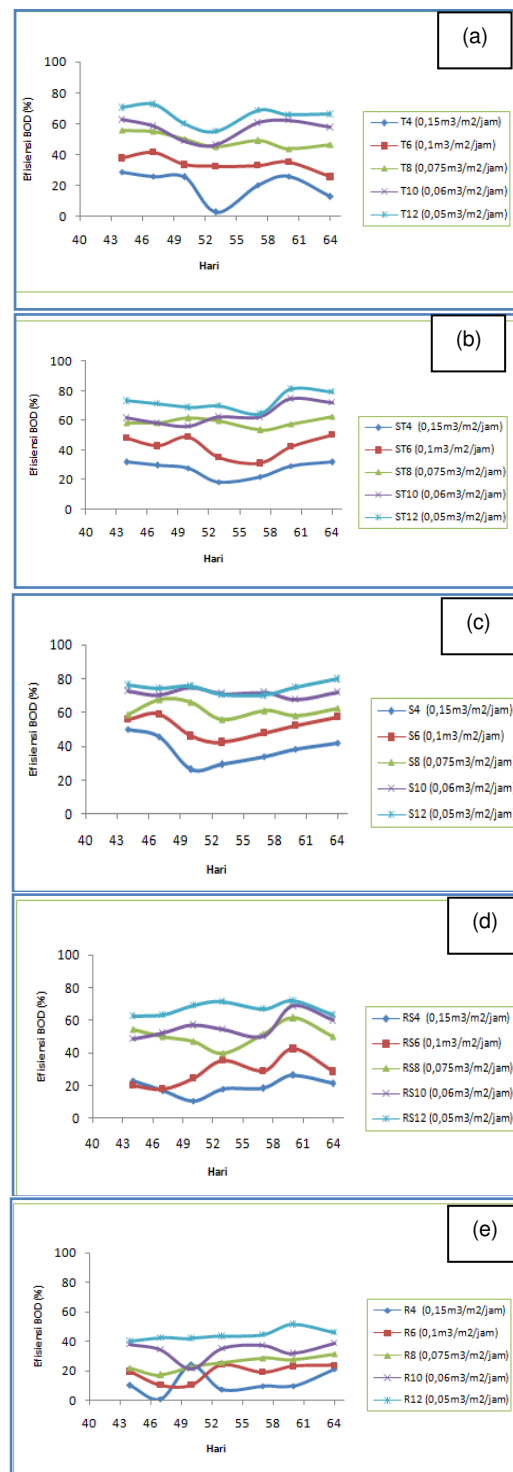
Untuk efisiensi penyisihan COD pada HLR  $0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dengan waktu tinggal 10 jam dapat dilihat pada gambar 3 (d). HLR ini mampu menyisihkan COD hingga 70,6% dan terjadi pada konsentrasi sedang. Secara umum efisiensi pada HLR ini lebih besar dibandingkan HLR

sebelumnya karena nilai HLR yang semakin kecil maka nilai HRT akan semakin besar, sehingga efisiensi juga akan semakin baik. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Foresti (2001) menyatakan bahwa HRT dibawah 6 jam yang diterapkan tanpa adanya perubahan signifikan dalam kinerja proses. Sehingga dapat dilihat bahwa HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dan  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dengan HRT 4 jam dan 6 jam memiliki efisiensi yang tidak terpaut jauh yaitu 39,71% pada HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  sedangkan HLR  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  lebih besar 10%.

Efisiensi HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dapat dilihat pada gambar 3 (e), dimana efisiensi COD pada konsentrasi tinggi pada awal *running* mengalami kenaikan, namun kemudian cukup stabil hingga akhir *running*. Sedangkan untuk konsentrasi lain cukup stabil dari awal hingga berakhirnya *running*. Secara umum efisiensi penyisihan COD pada HLR ini lebih besar dibandingkan dengan HLR sebelumnya dan terjadi pada konsentrasi sedang yaitu rata-rata efisiensi optimum 77,34%. Sedangkan efisiensi paling rendah terjadi pada konsentrasi rendah yaitu kurang lebih 48,01%. Secara umum efisiensi pada HLR ini lebih besar dibandingkan HLR sebelumnya, disebabkan lebih lama waktu tinggal dalam reaktor. Sehingga HLR akan turun begitu pula *Vup*. Nilai HLR dan *Vup* berbanding lurus, sehingga kecepatan naiknya substrat akan semakin lambat. Hal ini dapat terjadi karena adanya biogas yang terbentuk dan melekat pada granula yang menyebabkan granula naik ke atas sehingga kontak dengan bakteri akan semakin lambat oleh karena itu efisiensi juga akan semakin besar (Narnoli dan Mehotra, 1997).

### c. Pengaruh Variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) Terhadap Penyisihan $\text{BOD}_5$

Menurut Sugiharto (1987) menyatakan bahwa selain COD, bahan kimia yang penting ada di dalam air limbah adalah BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Untuk menentukan nilai HLR optimum maka perlu dianalisis berdasarkan masing-masing konsentrasi.



**Gambar 4.**  
**Efisiensi BOD pada (a) Konsentrasi Tinggi, (b) Konsentrasi Sedang-Tinggi, (c) Konsentrasi Sedang, (d) Konsentrasi Rendah-Sedang, (e) Konsentrasi Rendah**

Berdasarkan gambar 4 (a) efisiensi BOD untuk konsentrasi tinggi dapat dilihat bahwa, masing-masing HLR memiliki kecenderungan berbeda. Pada tiga HLR terbesar yaitu 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam; 0,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dan 0,075 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam cukup stabil dari awal hingga akhir *running*. Sedangkan untuk HLR 0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dan 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam pada hari ke-47 dan hari ke-53 mengalami kenaikan tetapi kembali turun hingga proses *running* berakhir. Efisiensi BOD minimum pada konsentrasi tinggi seperti terlihat pada gambar 4 (a) jatuh pada HLR 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dengan efisiensi kurang lebih hanya 20% dan hanya mampu menyisihkan BOD rata-rata 139 mg/L.

Konsentrasi sedang-tinggi memiliki konsentrasi influent antara 554 mg/L hingga 643 mg/L. Dapat dilihat pada gambar 4 (b) merupakan efisiensi pada konsentrasi sedang-tinggi. Pada HLR 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam cukup stabil hingga *running* berakhir, sedangkan HLR 0,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam; 0,075 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dan 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam pada awal *running* stabil kemudian hari ke-57 naik dan turun hingga akhir *running*. Hampir sama seperti pada konsentrasi tinggi dimana efisiensi terendah terjadi pada HLR 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam. Tetapi dengan efisiensi yang lebih besar yaitu terputat 7%.

Gambar 4 (c) menunjukkan efisiensi pada konsentrasi sedang. Konsentrasi sedang memiliki kestabilan pada nilai influent begitu pula pada effluent, sehingga efisiensi penyisihan pada konsentrasi sedang stabil dari awal hingga berakhirnya *running*. Namun tetap saja dari masing-masing variasi HLR memiliki kecenderungan yang berbeda-beda. Sebagai contoh pada HLR 0,15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dan 0,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam memiliki kecenderungan yang hampir sama yaitu pada hari ke-50 mengalami kenaikan kemudian turun dan stabil hingga *running* berakhir. Sedangkan untuk HLR 0,075 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam memiliki puncak efisiensi pada awal *running*. Sedangkan untuk HLR 0,06 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dan 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam memiliki efisiensi yang tidak terputat jauh bahkan pada hari ke-48 hingga hari ke-57 memiliki nilai yang hampir sama. Namun secara umum efisiensi optimum pada konsentrasi sedang jatuh pada HLR 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam



yaitu mencapai 75% dengan kemampuan menyisihan 371 mg/L BOD.

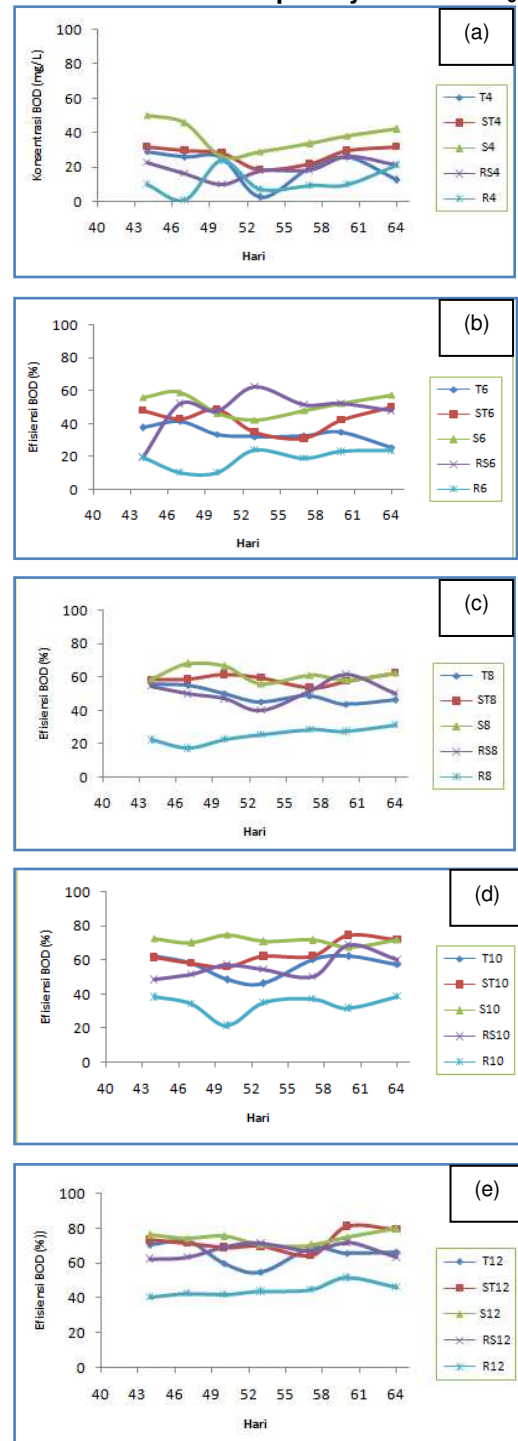
Lain halnya pada konsentrasi rendah-sedang. Efisiensi penyisihan BOD dapat dilihat pada gambar 4 (d), dimana pada HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  kurang begitu stabil di awal hingga efisiensi terendah terjadi pada pada awal *running* yaitu hari ke-50 hanya 10,32%. Lain halnya dengan HLR  $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  pada hari ke-60 justru mengalami efisiensi puncak yaitu mencapai 42,31%. Untuk HLR  $0,075 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ ;  $0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dan  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  cukup stabil hingga akhir *running*. Efisiensi optimum terjadi pada HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  yaitu mencapai 67%.

Konsentrasi rendah memiliki konsentrasi influent rata-rata 92 mg/L BOD. Efisiensi konsentrasi rendah seperti terlihat pada gambar 4 (e) mengalami penurunan dari pada konsentrasi sebelumnya. Dimana efisiensi optimum masih terjadi pada HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  namun dengan efisiensi yang jauh lebih rendah yaitu hanya 44%.

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa masing-masing HLR memiliki efisiensi yang beragam, semakin besar nilai HLR maka efisiensi penyisihan akan semakin kecil, begitupula sebaliknya. Baik pada konsentrasi tinggi, konsentrasi sedang-tinggi, konsentrasi sedang, konsentrasi rendah-sedang dan konsentrasi rendah efisiensi penyisihan optimum BOD jatuh pada HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ . Nilai HLR (*Hydraulic Loading Rate*) dipengaruhi oleh lamanya waktu tinggal (HRT), semakin lama waktu tinggal maka semakin kecil nilai HLR sehingga bakteri akan semakin baik untuk tumbuh dan berkembang. Seperti yang diungkapkan oleh Liu dan Tay (2004). Apabila HRT cepat dan dikombinasikan dengan kecepatan yang tinggi dapat menyebabkan tidak terbentuknya granula oleh mikroorganisme pada effluent.

Hal ini sesuai dengan yang hasil penelitian yang dilakukan oleh Ardina Sita (2012) dimana efisiensi optimum dalam menyisihkan BOD<sub>5</sub> dan COD terjadi pada HLR terendah. Walaupun memiliki nilai HLR yang berbeda karena waktu tinggal terlama yang digunakan adalah 8 jam sehingga nilai HLR yang digunakan kurang lebih  $0,025 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ .

#### d. Pengaruh Variasi Konsentrasi Influent Terhadap Penyisihan BOD<sub>5</sub>



Gambar 5.

Hasil Penyisihan BOD pada (a) HLR  $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  (b) HLR  $0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  (c) HLR  $0,075 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  (d) HLR  $0,06 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ ; (e) HLR  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$

Pada gambar 5 (a) HLR 0,15  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  memiliki kinerja yang cukup bervariasi apabila dilihat dari masing-masing konsentrasi. Salah satu contohnya untuk konsentrasi sedang mengalami penurunan efisiensi pada awal *running*. Namun hari berikutnya cukup stabil. Sebaliknya untuk konsentrasi rendah justru pada awal *running* efisiensinya naik dan stabil pada hari berikutnya hingga *running* berakhir. Untuk konsentrasi sedang-tinggi dan rendah cukup stabil selama *running*. Lain halnya dengan konsentrasi tinggi, ketika awal *running* turun namun kemudian perlahan naik dan stabil hingga akhir *running*. Efisiensi optimum pada HLR 0,15  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  terjadi di konsentrasi sedang walaupun memiliki nilai penyisihan yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi sedang-tinggi maupun konsentrasi tinggi yaitu mencapai 38%.

Pada gambar 5 (b) merupakan efisiensi penyisihan BOD pada HLR 0,10  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ . Dapat dilihat bahwa konsentrasi tinggi dan sedang-tinggi cukup stabil selama proses *running*. Begitu pula yang terjadi pada konsentrasi sedang dan rendah tetap stabil hingga *running* berakhir. Berbeda halnya apabila konsentrasi rendah-sedang pada hari ke-43 dan hari ke-47 mengalami kenaikan effluent bahkan lebih tinggi daripada konsentrasi sedang, sehingga pada hari tersebut merupakan efisiensi puncak pada HLR ini yaitu mencapai 62,54% tepat pada hari ke-47. Efisiensi optimum pada HLR 0,10  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ , sama seperti HLR 0,15  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  terjadi pada konsentrasi sedang

Efisiensi BOD berikutnya dengan nilai HLR 0,075  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dapat dilihat pada gambar 5 (c). Berdasarkan nilai penyisihan BOD, terbesar pada HLR ini terjadi pada konsentrasi sedang-tinggi menyusul kemudian konsentrasi tinggi, selanjutnya konsentrasi sedang, konsentrasi rendah sedang dan konsentrasi rendah. Namun besarnya penyisihan BOD belum tentu memiliki efisiensi yang besar pula. Karena sangat bergantung dari konsentrasi influent. Dimana efisiensi optimum dalam menyisihkan BOD terjadi pada konsentrasi sedang yaitu mencapai 62% atau sepuluh persen lebih besar dari HLR 0,010  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ .

Dapat ditarik kesimpulan sementara bahwa semakin besar nilai konsentrasi maka penyisihan akan semakin besar pula.

Gambar 5 (d) adalah efisiensi pada HLR 0,06  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ . Pada konsentrasi tinggi efisiensinya menyerupai pelana kuda, ketika awal *running* stabil kemudian turun dan naik lagi pada hari ke-57 dan hari ke-60 serta pada akhir *running* turun kembali. Sedangkan untuk konsentrasi sedang-tinggi dan konsentrasi rendah-sedang mengalami kenaikan pada awal *running* namun, kemudian cukup stabil hingga berakhirnya *running*. Lain halnya dengan konsentrasi sedang kestabilan justru terjadi pada akhir *running*. Sedangkan untuk konsentrasi rendah tetap stabil dari awal hingga akhir *running*. Efisiensi minimum pada HLR 0,06  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  terjadi pada konsentrasi rendah meskipun pada hari ke-64 merupakan efisiensi terbesar pada konsentrasi ini namun belum mampu mengalahkan konsentrasi sedang dalam menyisihkan BOD.

Efisiensi BOD pada HLR 0,05  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  dapat dilihat pada gambar 5 (e). Seperti halnya pada HLR 0,06  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  pada efisiensi BOD, konsentrasi tinggi menyerupai pelana kuda. Konsentrasi sedang-tinggi pada awal *running* cukup stabil bahkan pada ke-50 dan hari ke-53 merupakan puncak efisiensi pada konsentrasi ini. Sedangkan untuk ketiga konsentrasi lainnya cukup stabil selama proses *running*. Efisiensi optimum pada HLR 0,05  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$  terjadi pada konsentrasi sedang dengan puncak efisiensi terjadi pada hari terakhir *running* yaitu mencapai 79,84%.

Secara umum dari gambar 5 dapat dilihat bahwa masing-masing HLR memiliki efisiensi penyisihan yang beragam. Berdasarkan hasil diatas apabila dibandingkan dengan konsentrasi yang berbeda maka efisiensi terbesar terjadi pada konsentrasi sedang dengan efisiensi mencapai 74,58 %. Efisiensi BOD ini lebih kecil dibandingkan dengan efisiensi COD karena nilai influent dan effluennya terpaut cukup banyak sehingga penyisihannya juga semakin kecil. Selain itu hal ini didukung oleh pernyataan Tchobanoglous *et.al* (2003) hubungan antara BOD dan COD adalah BOD merupakan bagian dari COD.



Nilai BOD *ultimate* selalu lebih kecil dari nilai COD. Hal ini terjadi karena beberapa alasan, salah satunya banyak zat organik yang sulit untuk dioksidasi secara biologis seperti lignin karena hanya dapat dioksidasi secara kimia.

**e. Kondisi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) dan Konsentrasi Optimum Reaktor UASB dalam Penyisihan COD dan BOD**

Pada penyisihan COD dan BOD berdasarkan variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) dan variasi konsentrasi influent memiliki kecenderungan yang hampir sama. Berikut adalah hasil dari penelitian ini.

**Tabel 3.**  
**Matriks Hubungan HLR dan Konsentrasi Influent**

Variasi	Efisiensi Penyisihan (%)		
	COD	BOD	Ket.
Variasi HLR ( <i>Hydraulic Loading Rate</i> )			
1. Konsentrasi Tinggi	73.08	65.51	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
2. Konsentrasi Sedang-Tinggi	74.26	72.6	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
3. Konsentrasi Sedang	77.34	74.58	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
4. Konsentrasi Rendah-Sedang	69.92	66.95	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
5. Konsentrasi Rendah	48.01	44.47	HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam
Variasi Konsentrasi			
1. HLR 0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	39.71	38.02	Konsentrasi Sedang
2. HLR 0,1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	50.68	51.63	Konsentrasi Sedang
3. HLR 0,075 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	63.65	61.66	Konsentrasi Sedang
4. HLR 0,06 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	70.6	71.47	Konsentrasi Sedang
5. HLR 0,05 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /jam	77.34	74.58	Konsentrasi Sedang

**Kesimpulan**

1. Efisiensi penyisihan COD berdasarkan variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) mencapai 48,01%-77,34% dan variasi konsentrasi yaitu 39,71%-77,34%; penyisihan BOD<sub>5</sub> berdasarkan variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR) yaitu 44,74%-74,58% serta berdasarkan variasi konsentrasi antara 38,02%-75,58%.

2. Pengaruh variasi konsentrasi influen dan variasi konsentrasi terhadap penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> yaitu:
  - a. Semakin besar konsentrasi influent semakin besar penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> yang terjadi namun efisiensinya belum tentu tinggi karena dipengaruhi oleh konsentrasi influent;
  - b. Nilai *Hydraulic Loading Rate* (HLR) yang semakin kecil, maka penyisihan COD dan BOD<sub>5</sub> semakin besar, oleh karena itu efisiensi penyisihan juga semakin baik.
3. Kondisi konsentrasi influent dan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) optimum pada reaktor UASB untuk menyisihkan parameter tersebut antara lain:
  - a. Penyisihan COD optimum terjadi pada konsentrasi sedang dan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dengan kemampuan efisiensi penyisihan 77,34%;
  - b. Penyisihan BOD<sub>5</sub> secara optimum terjadi pada konsentrasi sedang dan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) 0,05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam dengan kemampuan efisiensi 74,58%.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Alaerts, G. dan Santika, S.S. 1987. Metode Penelitian Air. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya
- Anonim. 2003. Baku Mutu Air Limbah Domestik. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 112 Tahun 2003.
- Das S., Chaudhari S. 2009. *Improvement in Biomass Characteristics and Degradation Efficiency in Modified UASB Reactor Treating Municipal Sewage: A Comparative Study with UASB Reactor*. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering 4:596-601.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. Pedoman

- Pengelolaan Air Limbah Perkotaan. Direktorat Jenderal Tata Perkotaan dan Tata Pedesaan.
- Foresti, E. 2001. *Perspective on Anaerobic Treatment in Developing Countries*. *Water Science and Tehcnology*, 44 (8), 141-148
- Henze M. dan Ledin. 2001. *Type, Characteristic and Quantities of Classic, Combined Wastewater*. In: Lens, P., Zeeman, G., Lettinga, G. (Eds). *Decentralised Sanitation and Reuse*. UK: IWA Publishing, pp 57-72
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W. 1991. *UASB Process Design for Various Types of Wastewater*. *Water Science Technology*, vol. 24 (8), 87-109.
- Liu Y., Tay J. 2004. *State of The Art of Biogranulation Technology of Wastewater Treatment*. *Biotechnology Advances*. 22:533-563
- Mahmoud, N., G. Zeeman, H. Gijzen, G. Lettinga. 2003. *Solid Removal in Upflow Anaerobic Reactors, A Review*. *Biosource Technology*, 90 :1-9
- Narnoli, S. Mehrotra I. 1997. *Sludge Blanket of UASB Reactor: Mathematical Simulayion Water Research* 31:715-726.
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 10/PERDA/07/2004 tentang Baku Mutu Air Limbah .
- R, Reindy. R.R. 2012. *Studi Pengaruh Variasi Hydraulic Loading Rate dan Konsentrasi Influent Terhadap Penyisihan BOD, COD dan TSS Pengolahan Air Limbah Domestik Black Water Menggunakan Reaktor UASB*. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Said, Nusa Idaman. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Dengan Proses Biologis, Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*. h 79-147. Samarinda: BPPT-BAPEDALDA
- Seghezzo, L: Zeeman, G: van Lier, J.B.; H.V.M.; Lettinga, G. 1998. *A Review: The Anaerobic Treatment of Sewage in UASB and EGSB Reactors*: *Bioresour. Technol.*, 65. 175
- Sita, Ardina. 2012. *Pengaruh Hydraulic Loading Rate dan Konsentrasi Influent Terhadap Penyisihan Parameter BOD, COD dan NO<sub>3</sub>N Pada Pengolahan Air Limbah Domestik Campuran (Black Water dan Grey Water) Menggunakan Reaktor UASB*. Universitas Diponegoro: Semarang
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. UI Press. Jakarta.
- Tchobanoglous, George and Franklin L. Burton. 2003. *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. 4<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Book Co : Amerika.